

高炭素鋼材のサブマージアーク溶接に関する研究

著者	村本 徹五郎
号	154
発行年	1971
URL	http://hdl.handle.net/10097/11103

氏 名 (本 籍)	村 本 徹 五 郎 (富 山 県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 1 5 4 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 7 年 3 月 6 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
最 終 学 歴	昭 和 2 1 年 9 月 東 北 大 学 工 学 部 機 械 工 学 科 卒 業
学 位 論 文 題 目	高 炭 素 鋼 材 の サ ブ マ ー ジ ア ー ク 溶 接 に 関 す る 研 究 (主 査)
論 文 審 査 委 員	教 授 小 林 卓 郎 教 授 金 子 秀 夫 教 授 須 藤 一 教 授 大 平 五 郎

論 文 内 容 要 旨

1 緒 言

本研究は鉄道車輪の肉盛溶接およびレールのベース部分の結合溶接にサブマージアーク溶接法を適用することを目標として、適当なフラックスおよびワイヤの開発ならびに溶接施工法の確立を目的として行なったものである。

車輪肉盛は欧州においてさかんに行なわれている。しかし欧州における肉盛の対象は主として中炭素鋼（約 0.5 % C）製のタイヤであり、高 SiO₂ 高 MnO 系の汎用フラックスと低炭素鋼ワイヤとの組合せ使用による軟質肉盛が行なわれているにすぎない。これに対し本研究では高炭素鋼（0.60 ~ 0.75 % C）製圧延一体車輪に対する硬質肉盛を目標としている。高炭素鋼の場合は溶接金属の高温われや肉盛車輪のぜい性破壊の発生傾向が高くなり、既存の溶接材料を使用したのではそれらを防止

することができず，かつ硬質肉盛を行なうのにも不適當である。したがって圧延一体車輪の肉盛に適する溶接材料の開発ならびに溶接施工法の確立が解決すべき問題として提起された。

またロングレールを敷設するためにはレールを現地で溶接する必要がある。そのための自動溶接方法としてまだ信頼できるものが完成されていない。本研究では，ベース部分をサブマージアーク溶接したのち，ウェブから上をエレクトロスラグ溶接する方法を提案し，その実用化を意図した。そして，ベース部分の溶接にはルート間隔の広い片面溶接方法を考えた。しかし，既存の溶接材料では良好な形状の溶接ができず，また溶接金属に高温われが発生するので成功しなかった。そこでこの溶接に適する溶接材料の開発および溶接施工法の確立が解決すべき問題として提起された。

2 高塩基性ボンドフラックスの試作

高炭素鋼用フラックスに要求される第一の性能は，溶接金属の高温われ（一次組織における結晶粒界われ）感受性を低くすることである。高炭素鋼の溶接では，ワイヤに比較的低炭素のものを使用しても溶接金属のC量が高くなり，高温われ傾向が大きくなる。したがってフラックスとしては，われ防止の点から脱硫能力を高くするため高塩基度の組成とすること，また溶接金属に対しMn添加型の組成とすることが有利と考えた。

次に高炭素鋼用フラックスには，溶接金属の切欠きじん性を高くする性能が要求される。 SiO_2 およびMnOは既存フラックスの重要な成分であるがこれらを多く含むフラックスで溶接すると溶接金属の酸素量が高くなり，また非金属介在物が多くなる。このことはサブマージアーク溶接金属の衝撃値を低下させる主原因である。したがって高炭素鋼用フラックスとしては，安定度の高い酸化物（ CaO ， MgO ， Al_2O_3 など）ないし弗化物（ CaF_2 など）からなる組成が有利と考えた。

またフラックスは一般にアーク安定性の高いことが必要である。このためには電離電圧の低い物質（ CaO ， MgO など）の多い組成とすることが有利と考えた。

このような考えのもとに， CaCO_3 - MgO - Al_2O_3 - CaF_2 -脱酸剤系のボンドフラックスが適するとの見込みをつけ，この系について多数の実験を行ない，表1に示す組成のフラックスをえた。

表1 高炭素鋼用ボンドフラックスの基本組成・

フ ラ ッ ク ス	組 成 (%)					
	CaCO_3	MgO	Al_2O_3	CaF_2	Fe-Si	Fe-Mn
CAG	48	20	15	10	5	2

このフラックスは SiO_2 を配合せず、かつ塩基度がきわめて高いことが特徴である。実験の結果既存の高 SiO_2 ・高 MnO 系フラックスに比してわれ感受性が低下することを認めた。またこのフラックスは交流溶接における再点弧電圧が低く、アークが安定であり、また高電流溶接においてビード形成能力がすぐれていることも確かめられた。

3 高温われにおよぼす合金元素の影響

本章ではワイヤの成分に関する検討結果が述べられている。高炭素鋼材に対し耐摩耗性を目的とした肉盛溶接や、強さを目的とした結合溶接を行なうときは、溶接金属のかたさや強さを適当な値に調節しなければならない。溶接金属の高温われ防止上 C を高くすることができないので、適当な合金元素を加える必要がある。これらの合金元素は当然溶接金属のわれ感受性を低くするものでなければならない。本研究では Cr 、 Mo および V をえらび、溶接金属の C がやや高い場合の高温われに及ぼすこれらの元素の影響を調査した。すなわち、軟鋼板に V 溝を切り、その中に合金元素を撒布し、0.59% C 鋼ワイヤで1パス溶接を行ない。溶接金属のわれ発生におよぼす合金元素の影響を系統的にしらべた。

われ率は溶接金属の Cr 、 Mo ないし V 含有量が増加するにつれて減少した。われはビードのほぼ中央を通る縦われで、その破面を裂開して観察したところによると、柱状晶が並列した線状破面を呈しており、明らかに一次組織における結晶粒界われである。

溶接部横断面を研摩して光学顕微鏡で観察したところによると、合金元素を添加しない場合はわれの先端に連なって膜状ないし連鎖状の介在物が認められたが、 Cr 、 Mo 、 V など合金元素を増すにしたがってこれらの介在物は減少し、一次組織が微細化するのが認められた。また粒界に炭化物が生成しているのが認められた。

これらの実験から、 Cr 、 Mo および V は溶接金属の C がやや高い場合(0.23～0.29% C)の高温われを抑制するものであることが明らかとなった。その理由としては、膜状や連鎖状の介在物が減少すること、結晶粒が細くなること、炭化物を生成して C 、ひいては S の働きを抑制することがあげられる。

これらの結果は、高炭素鋼材のサブマージアーク溶接において Cr 、 Mo ないし V を添加することは溶接金属のかたさ、強さを増すと同時に、われ感受性を低くするうえに効果があることを示すものである。

4 車輪の肉盛溶接

車輪肉盛溶接用フラックスとして、 CAG (表1)をさらに実験的に改良して表2に示すものを製作した。成分的には CAG に MnCO_3 を補足配合したものに相当する。

表2 車輪肉盛溶接用フラックスの基本組成

フ ラ ッ ク ス	組 成 (重 量 比)						
	CaCO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnCO ₃	CaF ₂	Fe-Si	Fe-Mn
T F	4 7	1 8	1 4	1 2	9	5 ~ 8	2 ~ 4

また前節の実験結果から判断し、車輪肉盛溶接用ワイヤとして表3に示すものを製作した。

表3 車輪肉盛溶接用ワイヤ

ワイヤ	化 学 成 分 (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti
RW35	0.12	0.03	0.33	0.015	0.019	0.14	0.09	1.02	0.49	0.27	
RW36	0.14	0.07	0.83	0.015	0.012	0.14	0.07	1.03	0.49	0.30	
RW53	0.12	0.10	1.04	0.015	0.016	0.13	0.07	1.00	0.54		0.32
RW54	0.13	0.31	0.90	0.015	0.016	0.11	0.12	0.99	0.46		0.34

これらのワイヤではCを0.14%以下に抑制してある。

これらのフラックスおよびワイヤの性能試験を行なったところ、

- (1) 溶接金属のわれ感受性が低いこと。
- (2) 既存フラックスを使用した場合に比して、溶接金属の延性およびじん性がすぐれていること。
- (3) 肉盛金属は十分かつ適当なかたさを有していること。

などが示された。

フラックスの塩基度を高め、かつ低酸化性とすることによる治金的効果をねらったものであるが、溶接金属の

- (1) 酸素量がきわめて低くなること。
- (2) 非金属介在物が少なく、清浄になること。
- (3) 組織が微細になること。

などの総合的効果によるものといえる。

さらに、これらの溶接材料を使用して車輪の肉盛溶接施工法を定め、実際に多数の車輪の肉盛実験を行ない、肉盛金属のかたさが適当であり、かつわれおよびぜい性破壊に対して安全であることをたしかめた。

5 レールベースの結合溶接

レールベースの結合溶接用フラックスとして、TF (表2)を改良し、表4のものを製作した。

表4 レールベース溶接用フラックスの組成

フ ラ ッ ク ス	組 成 (%)						
	CaCO ₃	MgO	Al ₂ O ₃	MnCO ₃	CaF ₂	Fe-Si	Fe-Mn
TF-70	42.5	9.0	14.5	16.0	8.0	6.5	3.5

またレールベースの結合溶接用ワイヤとして表5のものを製作した。

表5 レール溶接用ワイヤの化学成分

ワイヤ	化 学 成 分 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo
TW1	0.09	0.11	1.08	0.004	0.010	0.04	1.02	0.53

上記フラックスおよびワイヤによるレールベース部の溶接試験結果によれば、

- (1) 溶接部の形状は良好
- (2) 溶接金属は高温われに対して安全
- (3) 溶接金属の引張り強さは母材と同等であり、伸びおよび衝撃値は母材よりも良好

であることが示された。

これにより溶接金属についての問題点は解決されたわけであるが、高炭素鋼材のサブマージアーク溶接においては、さらに、ボンド部近傍の熱影響部における高温われおよび低温われの防止をはかる必要のあることが判明した。前者はオーステナイト粒界を通る微小なわれで、この種のわれは溶接入熱を下げることににより防止することができた。後者は母材の熱硬化性と溶接部の切欠きに起因するトウ・クラックで、この種のわれは溶接部の形状のおよび熱的条件を緩和することにより防止することができた。

レールの全断面を溶接した継手に対し静曲げ試験および疲れ曲げ試験を行なって、継手が十分な強さを有することも確かめた。

6 結 論

車輪およびレールのサブマージアーク溶接の実用化を目標として高炭素鋼材用溶接材料および施工法の開発研究を行ない、次の結論を得た。

- (1) 高塩基性かつ低酸化性のボンドフラックスを開発し、このフラックスが高炭素鋼材のサブマージアーク溶接において、溶接金属の高温われ防止、延性および切欠きじん性の向上に効果があることを示した。
- (2) 高炭素鋼材溶接金属の高温われ防止上Cr, MoおよびVが有効な合金元素であることを示した。
- (3) 車輪およびレールベースのサブマージアーク溶接を可能ならしめた。

審 査 結 果 の 要 旨

サブマージ・アーク溶接法は比較的溶接性の良好な低炭素鋼，低合金鋼あるいは一部の高合金鋼などの溶接に広く用いられているが，高炭素鋼材に対してはまだ利用されるに至っていない。

溶接金属の高温割れ防止ならびに切欠きじん性の向上などの点で高炭素鋼材の溶接に適したサブマージ・アーク溶接用材料の開発が要望されている。

著者は，鉄道車輪の肉盛溶接ならびにレールの結合溶接にサブマージ・アーク溶接法を適用することを目標として，これら高炭素鋼材の溶接に適応したフラックスおよび電極線の開発ならびに溶接施行法の確立を目的として一連の研究を行なった。

本論文はその成果をまとめたもので全篇 7 章からなる。

第 1 章は序論であり，高炭素鋼材のサブマージ・アーク溶接用材料として具備すべき性能上の諸条件を整理し，併せて既存の溶接用材料ではこれらの要求を満足する結果が得られないことを実証している。

第 2 章は高炭素鋼材用基本フラックスの開発過程およびその使用結果を述べたものである。

$\text{CaCO}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{CaF}_2$ - 脱酸剤系の高塩基性で低酸化性のボンド・フラックスを開発し，その特徴を明らかにするとともに高炭素鋼材の溶接に適する性能を有することを明らかにしている。

第 3 章は高炭素鋼溶接用電極線の化学成分に関する検討結果を述べたもので，Cr, Mo および V を合金元素として添加することにより，溶接部に要求される強度を保証し，かつ溶接金属の割れ感受性を低下させ得ることを明らかにしている。

第 4 章は車輪肉盛溶接に関する研究結果を述べたものである。前章までの基礎研究の結果を利用して高温割れ感受性が低く，延性およびじん性が高く，適当なかたさを有する溶接部の得られる車輪肉盛専用フラックスおよび電極線を試作し，これらを用いて実物車輪のサブマージ・アーク溶接による肉盛が可能であることを示している。

第 5 章はレール・ベースの結合溶接に関する研究結果を述べたものである。レール・ベース専用として溶接作業性ならびに溶接金属の延性，じん性，耐高温割れ性などの点ですぐれた結果の得られるフラックスおよび電極線をつくり，実物溶接レールによる静的曲げ試験，疲れ曲げ試験などから十分信頼できる性能を有することを明らかにしている。また溶接熱影響部に発生する高温割れおよび低温割れに対する対策も確立している。

第 6 章は総括，第 7 章は結論である。

以上要するに本研究は高塩基性で低酸化性のボンド・フラックスと Cr, Mo および V を含有する電極線を開発し，それらを併用することにより高炭素鋼材のサブマージ・アーク溶接において割れ防止ならびに耐破壊性能向上が可能であることを明らかにしたもので，金属工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。